



UNIVERSIDAD PERUANA  
**CAYETANO HEREDIA**

| Facultad de  
**MEDICINA**

Poder mecánico en las primeras 72 horas de ventilación mecánica  
invasiva y su asociación con la mortalidad en pacientes  
oncológicos críticos

Mechanical power in the first 72 hours of invasive mechanical  
ventilation and its association with mortality in critically ill  
cancer patients

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN PARA OPTAR POR EL  
TÍTULO DE SEGUNDA ESPECIALIDAD PROFESIONAL EN  
MEDICINA INTENSIVA

AUTOR

EDGARDO NAVILL HERNANDEZ CALDERON

ASESOR

EDWIN PABLO ROCANO

LIMA – PERÚ

2026

## DECLARACIÓN DE ORIGINALIDAD

### Los egresados:

| Nº | APELLIDOS Y NOMBRES               |
|----|-----------------------------------|
| 1. | HERNANDEZ CALDERON EDGARDO NAVILL |

Pertenecientes al programa de **SEGUNDA ESPECIALIDAD PROFESIONAL EN MEDICINA INTENSIVA**, autor del proyecto de investigación titulado: **Poder mecánico en las primeras 72 horas de ventilación mecánica invasiva y su asociación con la mortalidad en pacientes oncológicos críticos**, el cual ha sido elaborado y aprobado, para optar por el **TÍTULO DE SEGUNDA ESPECIALIDAD PROFESIONAL EN MEDICINA INTENSIVA**, bajo la modalidad de **Proyecto de investigación**.

En calidad de docente (s) asesor (es) de la Universidad Peruana Cayetano Heredia:

| Nº | APELLIDOS Y NOMBRES DEL DOCENTE | FACULTAD | NIVEL DE ASESORÍA |
|----|---------------------------------|----------|-------------------|
| 1. | PABLO ROCANO EDWIN              | MEDICINA | Asesor            |

Declaramos que el contenido del presente documento es original y que las citas y referencias a otros autores cumplen con las normas académicas establecidas. En ese sentido, hacemos constar que:

- El documento presenta un porcentaje de similitud de **8%**, según el reporte emitido por el software **Turnitin®** (identificador de entrega: **3664131594**; fecha de entrega: **29/09/2026**)
- Tras una revisión detallada del reporte y del contenido del trabajo en cuestión, no se han identificado indicios de plagio.
- Se certifica que el documento respeta los principios de integridad académica y cumple con los requisitos institucionales de originalidad.

Lugar y fecha: **Lima, 30 de setiembre de 2026**



Firma del asesor

Nº DNI: 09942714

ORCID: 0009-0001-1509-4826

## **2. RESUMEN**

El poder mecánico integra el volumen corriente, la frecuencia respiratoria, el flujo y las presiones de la vía aérea, por lo que representa la energía transferida por el ventilador al sistema respiratorio por unidad de tiempo. Su elevación se ha asociado con mortalidad en pacientes críticos, pero su comportamiento longitudinal se ha estudiado poco en la población oncológica. El objetivo será determinar la asociación entre el poder mecánico administrado durante las primeras 72 horas de ventilación mecánica invasiva y la mortalidad hospitalaria en pacientes oncológicos críticos. Se realizará una cohorte retrospectiva analítica en adultos con neoplasias sólidas o hematológicas que iniciaron ventilación mecánica invasiva en el Instituto Nacional de Enfermedades Neoplásicas entre enero de 2024 y junio de 2026. La muestra mínima estimada será de 177 pacientes. El poder mecánico se calculará al inicio y a las 24, 48 y 72 horas. La asociación se estimará mediante un modelo de Cox con exposición dependiente del tiempo y ajuste definido mediante un diagrama causal.

Palabras clave: Respiración artificial; Neoplasias; Mortalidad hospitalaria. (DeSC)

## **3. INTRODUCCIÓN**

La ventilación mecánica invasiva constituye una medida esencial de soporte vital en pacientes oncológicos críticos y su indicación debe basarse en la gravedad aguda, la reversibilidad del evento, el estado funcional y las posibilidades terapéuticas, no únicamente en el diagnóstico de cáncer (1). En las neoplasias hematológicas, la insuficiencia respiratoria exige una evaluación etiológica temprana que no retrase la intubación cuando esté indicada (2). Las terapias celulares, los anticuerpos biespecíficos y la inmunoterapia también han incorporado toxicidades que pueden

requerir soporte ventilatorio y manejo multidisciplinario (3). En este contexto, infección, progresión tumoral, obstrucción de la vía aérea, toxicidad pulmonar, hemorragia alveolar, edema y síndrome de dificultad respiratoria aguda pueden coexistir sobre una reserva fisiológica reducida (4).

Aunque el pronóstico ha mejorado, la ventilación invasiva continúa identificando un subgrupo de alto riesgo. En pacientes con tumores sólidos, la mortalidad hospitalaria se aproxima a 40% y depende principalmente de la disfunción orgánica y del estado funcional (5,6). En neoplasias hematológicas ventiladas por neumonía, la mortalidad en UCI puede superar 60%, mientras que las cohortes contemporáneas de tumores sólidos muestran que una proporción clínicamente relevante alcanza supervivencia prolongada (7,8). Estos resultados son concordantes con estudios institucionales y metaanálisis, que vinculan la ventilación mecánica y la gravedad aguda con mortalidad, pero no identifican qué componentes modificables de la estrategia ventilatoria contribuyen al riesgo (9,10). La lesión pulmonar inducida por el ventilador resulta de la interacción entre la magnitud de la deformación, las presiones aplicadas, la frecuencia respiratoria y el tiempo de exposición. El poder mecánico integra estos componentes y expresa en julios por minuto la energía entregada al sistema respiratorio (11). Por ello, una estrategia puede respetar límites aislados de volumen corriente o presión y, aun así, mantener una carga energética potencialmente lesiva cuando se combinan frecuencias y presiones elevadas (12). Desde una perspectiva física, el daño depende tanto de la energía suministrada como de su distribución en el pulmón funcional (13). La distensibilidad, la capacidad de reclutamiento y el esfuerzo respiratorio modifican la respuesta biológica a una misma carga de energía (14).

La evidencia agregada respalda la relevancia pronóstica del poder mecánico, aunque existe heterogeneidad en las ecuaciones, momentos de medición y poblaciones estudiadas. Una revisión sistemática encontró asociaciones consistentes entre valores elevados, mortalidad y mayor duración de la ventilación mecánica, con umbrales frecuentes entre 14 y 18 J/min (15). Un metaanálisis posterior confirmó un incremento gradual del riesgo por cada aumento del poder mecánico y advirtió que no existe un punto de corte universal (16).

El componente temporal puede ser tan importante como la intensidad. Un registro hospitalario encontró asociación entre el poder mecánico temprano y la mortalidad a 30 días (17). El análisis continuo de registros ventilatorios mostró que cada hora por encima de 18 J/min se relacionó con un aumento acumulativo del riesgo (18). En ventilación controlada por presión, los no sobrevivientes presentaron valores más altos y la asociación persistió en cohortes independientes (19,20). Estos hallazgos sustentan que una sola medición basal puede representar de forma incompleta la exposición ventilatoria.

En insuficiencia respiratoria hipoxémica, valores superiores a 17 J/min durante las primeras 24 horas se asociaron con mortalidad sin que pudiera identificarse un nivel consistentemente seguro (21). En UCI quirúrgica, tanto un valor inicial elevado como su incremento a las 24 horas se relacionaron con peor pronóstico (22). En pacientes con síndrome de dificultad respiratoria aguda se identificaron trayectorias longitudinales diferenciadas y la trayectoria persistentemente alta presentó mayor mortalidad (23). La normalización por distensibilidad dinámica se asoció con fracaso del destete (24). En pacientes neurocríticos también se observó una relación

gradual con mortalidad, aunque con un umbral diferente, lo que confirma la dependencia del contexto clínico (25).

La evidencia disponible procede principalmente de poblaciones generales, respiratorias, quirúrgicas o neurológicas. No se ha establecido si el poder mecánico conserva una asociación independiente con la mortalidad en pacientes oncológicos críticos, quienes presentan particularidades clínicas, inmunológicas y terapéuticas. Además, predominan las mediciones basales o los promedios de 24 horas, que no representan la exposición acumulada ni su trayectoria durante las primeras 72 horas. Evaluar esta evolución permitirá estimar si la intensidad y persistencia de la energía ventilatoria aportan información pronóstica más allá de la gravedad basal. Por ello, se plantea la siguiente pregunta: ¿cuál es la asociación entre el poder mecánico administrado durante las primeras 72 horas de ventilación mecánica invasiva y la mortalidad hospitalaria en pacientes oncológicos críticos?

#### **4. OBJETIVOS**

##### **Objetivo general**

Determinar la asociación entre el poder mecánico administrado durante las primeras 72 horas de ventilación mecánica invasiva y la mortalidad hospitalaria en pacientes oncológicos críticos.

##### **Objetivos específicos**

- Describir las características demográficas, oncológicas, fisiológicas y de soporte orgánico de la cohorte.
- Estimar el poder mecánico al inicio y a las 24, 48 y 72 horas, así como su promedio acumulado ponderado por tiempo.

- Comparar la distribución y la trayectoria del poder mecánico entre los pacientes que sobrevivan y fallezcan durante la hospitalización.
- Estimar la asociación ajustada entre el poder mecánico, como exposición continua dependiente del tiempo, y la mortalidad hospitalaria.
- Evaluar la asociación del poder mecánico con mortalidad en UCI, días libres de ventilación al día 28, duración de la ventilación mecánica y estancia en UCI.

## **5. MATERIAL Y MÉTODO**

### **a) Diseño del estudio**

Estudio observacional analítico de cohorte retrospectiva (26).

### **b) Población**

La población estará conformada por pacientes adultos con neoplasias sólidas o hematológicas que iniciaron ventilación mecánica invasiva en la Unidad de Cuidados Intensivos del Instituto Nacional de Enfermedades Neoplásicas entre enero de 2024 y junio de 2026.

El tiempo cero será la fecha y hora de inicio del primer episodio elegible de ventilación mecánica invasiva durante la hospitalización índice. La reintubación durante la misma hospitalización se considerará parte del episodio índice y no generará un nuevo registro. Si ocurre dentro de las primeras 72 horas, la exposición volverá a actualizarse desde el reinicio de la ventilación.

### **Criterios de inclusión**

- Edad igual o mayor de 18 años.
- Diagnóstico documentado de neoplasia sólida o hematológica.

- Inicio de ventilación mecánica invasiva en la UCI, emergencia, sala de operaciones u otra área del INEN, o durante las 24 horas previas al ingreso a UCI.
- En pacientes intubados fuera del INEN y transferidos, disponibilidad de la hora de intubación y de un registro ventilatorio completo y verificable dentro de las primeras seis horas.
- Al menos un registro ventilatorio completo dentro de las primeras seis horas desde la intubación.

### **Criterios de exclusión**

- Dependencia de ventilación mecánica invasiva crónica antes de la hospitalización.
- Soporte extracorpóreo respiratorio al inicio de la ventilación.
- Limitación del esfuerzo terapéutico documentada antes de la intubación.
- Gestación.
- Imposibilidad de establecer la fecha de intubación o la condición al alta hospitalaria.
- Ventilación posoperatoria electiva planificada exclusivamente para recuperación anestésica, con intención documentada de extubación dentro de las primeras 24 horas y sin complicación crítica no programada.
- Reingreso durante el periodo de estudio; solo se considerará el primer episodio elegible.

La muerte o la extubación antes de las 72 horas no constituirán criterios de exclusión, porque hacerlo generaría sesgo de supervivencia.

### **c) Muestra**

La unidad de análisis será el primer episodio elegible de ventilación mecánica invasiva de cada paciente. El tamaño muestral se estimó mediante el método de Hsieh y Lavori para regresión de Cox con una covariable continua (27). Se consideró un nivel de significancia bilateral de 5%, potencia de 80%, hazard ratio de 1,50 por una desviación estándar de incremento del poder mecánico, proporción esperada de mortalidad hospitalaria de 40%, correlación múltiple de 0,50 entre la exposición y las covariables y 10% de registros incompletos. Se requieren 64 muertes y una muestra mínima de 177 pacientes. Se incluirán consecutivamente todos los registros elegibles del periodo; si el marco disponible fuera menor, se efectuará un censo y se informará la potencia alcanzada. El desarrollo se presenta en el Anexo 1.

### **d) Definición operacional de variables**

La variable independiente será el poder mecánico, expresado en J/min y tratado como una exposición continua dependiente del tiempo. El desenlace principal será la mortalidad por cualquier causa antes del alta de la hospitalización índice.

Las covariables basales comprenderán edad, sexo, índice de masa corporal, tipo y estado de la neoplasia, metástasis, causa de intubación, SOFA, sepsis, síndrome de dificultad respiratoria aguda y neutropenia, definidos con la información más cercana al tiempo cero y anterior o simultánea a la primera medición del poder mecánico. El estado de los tumores sólidos se clasificará según RECIST 1.1 y el de los linfomas según Lugano; en otras neoplasias hematológicas se utilizará la evaluación explícita del hematólogo tratante (28,29).

El síndrome de dificultad respiratoria aguda se definirá por un factor precipitante agudo, opacidades bilaterales no explicadas completamente por derrame, atelectasia o nódulos, edema no atribuible principalmente a falla cardíaca o sobrecarga de volumen y  $\text{PaO}_2/\text{FiO}_2$  menor de 300 mmHg; en pacientes bajo VMI se clasificará como leve, moderado o grave con PEEP igual o mayor de 5 cmH<sub>2</sub>O (30). La sepsis se definirá como infección sospechada o documentada acompañada de un incremento agudo del SOFA igual o mayor de 2 puntos respecto al basal (31). Los días libres de ventilación al día 28 serán los días completos durante los cuales el paciente permanezca vivo y sin VMI entre el tiempo cero y el día 28. Se asignará cero a quienes fallezcan antes del día 28 o permanezcan ventilados durante 28 días o más; una reintubación dentro de las 48 horas invalidará la liberación inicial y los días con VMI posteriores se incorporarán al cálculo (32). La matriz completa de operacionalización se presenta en el Anexo 2.

#### **e) Procedimientos y técnicas**

Después de obtener las autorizaciones institucionales, se identificarán los episodios mediante los registros de UCI, ventilación mecánica y altas hospitalarias. La información se extraerá de las historias clínicas con una ficha estandarizada y se incorporará a una base identificada únicamente por códigos. Se recuperará el registro más cercano a 0-6 horas,  $24 \pm 6$ ,  $48 \pm 6$  y  $72 \pm 6$  horas; cuando existan varias mediciones válidas dentro de una ventana se utilizará la mediana.

En ventilación controlada por volumen, el poder mecánico se calculará con la ecuación siguiente, utilizando el volumen corriente en litros (33):

$$\text{PM} = 0,098 \times \text{FR} \times \text{VT} \times [\text{Ppico} - 0,5 \times (\text{Pplat} - \text{PEEP})]$$

En ventilación controlada por presión se empleará el modelo lineal validado por Trinkle y colaboradores (34):

$$PMLM = 0,098 \times FR \times \{VT \times (PEEP + \Delta P_{insp}) - 0,15 \times (\Delta P_{insp})^2 \times tslope / R\}$$

Se verificará la plausibilidad de cada componente y la ausencia de esfuerzo espontáneo significativo en las mediciones utilizadas. En los periodos bajo presión de soporte u otros modos sin ecuación validada, el poder mecánico se considerará estructuralmente no calculable: no se asignará cero ni se imputará. El valor acumulado permanecerá sin actualización hasta una nueva medición válida y se registrará la proporción de tiempo en modos no calculables.

El promedio acumulado ponderado por tiempo se estimará como el área bajo la curva del poder mecánico dividida entre el tiempo observado, mediante interpolación trapezoidal entre mediciones válidas (35). La exposición se actualizará hasta las 72 horas, la extubación o la muerte, lo que ocurra primero. Si el paciente es extubado y fallece posteriormente, el último promedio acumulado quedará fijo hasta el desenlace o el alta; la falta de mediciones posteriores a la extubación o muerte será estructural y no se imputará. Los periodos de una reintubación ocurrida dentro de las primeras 72 horas se incorporarán a la exposición. Se estimará además la energía acumulada y, de forma secundaria, el poder mecánico normalizado por peso corporal predicho y distensibilidad dinámica (36). El 10% de los registros y cálculos será revisado por un segundo investigador.

#### **f) Aspectos éticos del estudio**

El protocolo será presentado al Comité Institucional de Ética en Investigación del INEN y al Comité Institucional de Ética en Investigación de la Universidad Peruana Cayetano Heredia. La ejecución comenzará únicamente después de obtener ambas

aprobaciones y las autorizaciones institucionales correspondientes. El estudio se registrará por la Declaración de Helsinki y la normativa nacional aplicable. Por tratarse de una revisión retrospectiva sin intervención ni contacto con los participantes, se solicitará dispensa del consentimiento informado.

Cada participante recibirá un código de estudio. La tabla de correspondencia entre el código y el número de historia clínica se almacenará separadamente, en un archivo protegido y accesible solo al investigador principal. La base analítica no contendrá nombres, documentos de identidad ni otros identificadores directos y será utilizada exclusivamente para los objetivos aprobados.

#### **g) Plan de análisis**

Las variables cuantitativas se describirán mediante media y desviación estándar o mediana y rango intercuartílico, según su distribución. Las variables categóricas se presentarán como frecuencias y porcentajes. Se describirán los valores de poder mecánico en cada ventana y su trayectoria individual.

El análisis principal utilizará un modelo extendido de Cox en formato de proceso de conteo. El tiempo se medirá desde la intubación hasta la muerte hospitalaria; el alta viva constituirá censura. La exposición dependiente del tiempo será el promedio acumulado ponderado del poder mecánico, actualizado con cada medición válida y expresado por incrementos de 5 J/min. Se reportarán hazard ratios ajustados e intervalos de confianza de 95%. El conjunto de ajuste se definirá a priori mediante el DAG del Anexo 4 y se limitará según el número de muertes. Las variables aparecidas después del inicio de la ventilación, como cambios posteriores del SOFA,  $\text{PaO}_2/\text{FiO}_2$ , vasopresores, terapia de reemplazo renal y modo

ventilatorio, no se incorporarán indiscriminadamente al modelo principal por su posible función mediadora.

La linealidad se evaluará gráficamente. Si se observan al menos 80 muertes, se explorará no linealidad mediante splines cúbicos restringidos con tres nudos preespecificados; con menos eventos se conservará la forma lineal. El umbral de 17 J/min se analizará únicamente con fines exploratorios. El supuesto de riesgos proporcionales se evaluará mediante residuos de Schoenfeld y gráficos de logaritmo negativo del logaritmo de la supervivencia. Ante un incumplimiento relevante se considerará una interacción con el tiempo o estratificación.

Se describirán el porcentaje y patrón de datos faltantes por variable y se evaluará la plausibilidad de los mecanismos MCAR, MAR o MNAR. La imputación múltiple mediante ecuaciones encadenadas se considerará para covariables basales plausiblemente MAR, incorporando la exposición, el desenlace y el estimador de riesgo acumulado en el modelo de imputación. Los valores no disponibles por muerte, extubación o modo ventilatorio no calculable se tratarán como ausencias estructurales y no se imputarán. Se compararán los resultados de casos completos e imputados.

La mortalidad en UCI se evaluará mediante un modelo de Cox de causa específica. Los días libres de ventilación al día 28 se resumirán con mediana y rango intercuartílico y se explorarán mediante regresión ordinal. Para la duración de VMI y las estancias se estimarán funciones de incidencia acumulada, considerando la muerte como evento competitivo. Los análisis de sensibilidad incluirán el poder mecánico basal, el promedio de las primeras 24 horas, un análisis de referencia a las 72 horas entre pacientes vivos y ventilados, la exclusión de participantes con

más de 25% del tiempo en modos no calculables y la normalización por peso corporal predicho o distensibilidad. Se utilizará Stata versión 17; las pruebas serán bilaterales y se considerará significativo un valor p menor de 0,05.

## 6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Lemiale V, Mabrouki A. [Invasive mechanical ventilation in patients with solid tumor or hematological malignancy]. *Rev Mal Respir*. 2023;40(4):335-344. doi: 10.1016/j.rmr.2023.02.006.
2. Azoulay E, Maertens J, Lemiale V. How I manage acute respiratory failure in patients with hematological malignancies. *Blood*. 2024;143(11):971-982. doi: 10.1182/blood.2023021414.
3. Azoulay E, Zafrani L, Nates J, Maillard A, Chean D, Ferreyro B, et al. Advances in the critical care management for patients with hematological malignancies. *Blood Rev*. 2025;74:101306. doi:10.1016/j.blre.2025.101306.
4. Manjappachar N, Narendra D, Nates JL. Acute respiratory failure in the oncologic critical care population: mechanisms, diagnosis, and evolving therapeutic strategies. *Med Intensiva (Engl Ed)*. 2026:502532. doi: 10.1016/j.medine.2026.502532.
5. Bosch-Compte R, Visa L, Rios A, Duran X, Fernández-Real M, Gomariz-Vilaldach G, et al. Prognostic factors in oncological patients with solid tumours requiring intensive care unit admission. *Oncol Lett*. 2023;26(6):525. doi:10.3892/ol.2023.14112.
6. Chatelain E, Simon M, Hernu R, Argaud L, Cour M. Factors associated with short- and long-term outcomes in lung cancer patients requiring unplanned invasive mechanical ventilation. *Med Intensiva (Engl Ed)*. 2024;48(1):37-45. doi: 10.1016/j.medine.2023.07.014.
7. Seybold B, Funk T, Dreger P, Egerer G, Brandt J, Mueller-Tidow C, et al. Microbiological risk factors, ICU survival, and 1-year survival in hematological patients with pneumonia requiring invasive mechanical ventilation. *Eur J Clin Microbiol Infect Dis*. 2024;43(9):1679-1688. doi:10.1007/s10096-024-04883-y.
8. Lee SY, Huh JW, Hong SB, Lim CM, Ahn JH. Short-term and long-term outcomes of critically ill patients with solid malignancy: a retrospective cohort study. *Korean J Intern Med*. 2024;39(6):957-966. doi:10.3904/kjim.2024.054.
9. Díaz-Lagares C, García-Roche A, Pacheco A, Ros J, Plata-Menchaca EP, Albasanz A, et al. Short- and long-term mortality in critically ill patients with solid cancer. The Vall d'Hebron Intensive Care Unit-Vall d'Hebron Institute of Oncology Cohort: a retrospective study. *Med Intensiva (Engl Ed)*. 2025;49(11):502176. doi: 10.1016/j.medine.2025.502176.
10. Elkhapery A, Taifour H, Niu C, Soubani AO. Prognosis of patients with lung cancer admitted to the intensive care unit: a systematic review and meta-analysis. *J Intensive Care Med*. 2025:8850666251339451. doi:10.1177/08850666251339451.

11. Damiani LF, Basoalto R, Retamal J, Bruhn A, Buggedo G. Mechanical power of ventilation: from computer to clinical implications. *Respir Care*. 2023;68(12):1748-1756. doi:10.4187/respcare.11462.
12. Burša F, Oczka D, Jor O, Sklienka P, Frelich M, Stigler J, et al. The impact of mechanical energy assessment on mechanical ventilation: a comprehensive review and practical application. *Med Sci Monit*. 2023;29: e941287. doi:10.12659/MSM.941287.
13. Bates JHT, Kaczka DW, Kollisch-Singule M, Nieman GF, Gaver DP. Mechanical power and ventilator-induced lung injury: what does physics have to say? *Am J Respir Crit Care Med*. 2024;209(7):787-788. doi:10.1164/rccm.202307-1292VP.
14. von Düring S, Parhar KKS, Adhikari NKJ, Urner M, Kim SJ, Munshi L, et al. Understanding ventilator-induced lung injury: the role of mechanical power. *J Crit Care*. 2025; 85:154902. doi: 10.1016/j.jcrc.2024.154902.
15. Urbankowski T, Pasledni R, Darowski M. Mechanical power in mechanical ventilation and its association with ventilator-induced lung injury: a systematic review. *Respir Med*. 2025; 250:108525. doi: 10.1016/j.rmed.2025.108525.
16. Sato R, Kondo S, Ali A, Abu Za'nouneh F, Hasegawa D, Daoud EG. The association between mechanical power and mortality in critically ill patients receiving invasive mechanical ventilation: a systematic review and meta-analysis. *Crit Care Med*. 2026;54(7):1742-1754. doi:10.1097/CCM.00000000000007146.
17. Azizi BA, Munoz-Acuna R, Suleiman A, Ahrens E, Redaelli S, Tartler TM, et al. Mechanical power and 30-day mortality in mechanically ventilated, critically ill patients with and without coronavirus disease-2019: a hospital registry study. *J Intensive Care*. 2023;11(1):14. doi:10.1186/s40560-023-00662-7.
18. Manrique S, Ruiz-Botella M, Murillo N, Canelles S, Victoria ID, Samper MA, et al. Impact of mechanical power on ICU mortality in ventilated critically ill patients: a retrospective study with continuous real-life data. *Eur J Med Res*. 2024;29(1):491. doi:10.1186/s40001-024-02082-1.
19. Sim JK, Lee SM, Kang HK, Kim KC, Kim YS, Kim YS, et al. Association between mechanical power and intensive care unit mortality in Korean patients under pressure-controlled ventilation. *Acute Crit Care*. 2024;39(1):91-99. doi:10.4266/acc.2023.00871.
20. Goedegebuur J, Smits FE, Snoep JWM, Rietveld PJ, van der Velde F, de Jonge E, et al. Mechanical power is associated with mortality in pressure-controlled ventilated patients: a Dutch, single-center cohort study. *Crit Care Explor*. 2024;6(12): e1190. doi:10.1097/CCE.0000000000001190.
21. von Düring S, Liu K, Munshi L, Kim SJ, Urner M, Adhikari NKJ, et al. The association between mechanical power within the first 24 hours and ICU mortality in mechanically ventilated adult patients with acute hypoxemic respiratory failure: a registry-based cohort study. *Chest*. 2025;168(4):901-911. doi: 10.1016/j.chest.2025.03.012.
22. Piriypatsom A, Trisukhonth A, Chintabanyat O, Thanakiattiwibun C. Mechanical power in patients receiving mechanical ventilation in the surgical intensive care unit and its association with increased mortality: a retrospective cohort study. *BMJ Open Respir Res*. 2025;12(1): e002843. doi:10.1136/bmjresp-2024-002843.

23. Song W, Cai G, Zhou Y, Zheng C, Jia Q, Li Q, et al. Trajectory patterns of mechanical power and prognosis in ARDS: a longitudinal analysis using group-based trajectory modeling. *Eur J Med Res.* 2025;31(1):58. doi:10.1186/s40001-025-03479-2.
24. Yan Y, Du Z, Chen H, Liu S, Chen X, Li X, et al. The relationship between mechanical power normalized to dynamic lung compliance and weaning outcomes in mechanically ventilated patients. *PLoS One.* 2024;19(8):e0306116. doi: 10.1371/journal.pone.0306116.
25. Jiang X, Zhu Y, Zhen S, Wang L. Mechanical power of ventilation is associated with mortality in neurocritical patients: a cohort study. *J Clin Monit Comput.* 2022;36(6):1621-1628. doi:10.1007/s10877-022-00805-5.
26. Hess DR. Observational studies. *Respir Care.* 2023;68(11):1585-1597. doi:10.4187/respcare.11170.
27. Hsieh FY, Lavori PW. Sample-size calculations for the Cox proportional hazards regression model with nonbinary covariates. *Control Clin Trials.* 2000;21(6):552-560. doi:10.1016/S0197-2456(00)00104-5.
28. Eisenhauer EA, Therasse P, Bogaerts J, Schwartz LH, Sargent D, Ford R, et al. New response evaluation criteria in solid tumours: revised RECIST guideline (version 1.1). *Eur J Cancer.* 2009;45(2):228-247. doi: 10.1016/j.ejca.2008.10.026.
29. Cheson BD, Fisher RI, Barrington SF, Cavalli F, Schwartz LH, Zucca E, et al. Recommendations for initial evaluation, staging, and response assessment of Hodgkin and non-Hodgkin lymphoma: The Lugano classification. *J Clin Oncol.* 2014;32(27):3059-3068. doi:10.1200/JCO.2013.54.8800.
30. Matthay MA, Arabi Y, Arroliga AC, Bernard G, Bersten AD, Brochard LJ, et al. A new global definition of acute respiratory distress syndrome. *Am J Respir Crit Care Med.* 2024;209(1):37-47. doi:10.1164/rccm.202303-0558WS.
31. Singer M, Deutschman CS, Seymour CW, Shankar-Hari M, Annane D, Bauer M, et al. The Third International Consensus Definitions for Sepsis and Septic Shock (Sepsis-3). *JAMA.* 2016;315(8):801-810. doi:10.1001/jama.2016.0287.
32. Schoenfeld DA, Bernard GR. Statistical evaluation of ventilator-free days as an efficacy measure in clinical trials of treatments for acute respiratory distress syndrome. *Crit Care Med.* 2002;30(8):1772-1777. doi:10.1097/00003246-200208000-00016.
33. Wu SH, Kor CT, Mao IC, Chiu CC, Lin KH, Kuo CD. Accuracy of calculating mechanical power of ventilation by one commonly used equation. *J Clin Monit Comput.* 2022;36(6):1753-1759. doi:10.1007/s10877-022-00823-3.
34. Trinkle CA, Broaddus RN, Sturgill JL, Waters CM, Morris PE. Simple, accurate calculation of mechanical power in pressure controlled ventilation (PCV). *Intensive Care Med Exp.* 2022;10(1):22. doi:10.1186/s40635-022-00448-5.
35. Chen H, Chen ZZ, Gong SR, Yu RG. Visualizing the dynamic mechanical power and time burden of mechanical ventilation patients: an analysis of the MIMIC-IV database. *J Intensive Care.* 2023;11(1):58. doi:10.1186/s40560-023-00709-9.
36. Khorasane R, Sanderson B, Tomarchio E, Collins PD, Del Signore R, Shetty S, et al. Mechanical power normalisation methods to predict ICU mortality: a retrospective cohort study. *Ann Intensive Care.* 2025;15(1):149. doi:10.1186/s13613-025-01562-9.

## 7. PRESUPUESTO Y CRONOGRAMA

### Presupuesto

| <b>Categoría</b>    | <b>Recurso</b>                | <b>Costo S/</b> |
|---------------------|-------------------------------|-----------------|
| Recursos materiales | Hojas bond A4                 | 200,00          |
| Recursos materiales | Bolígrafos y fólderes         | 30,00           |
| Recursos materiales | Unidad USB cifrada            | 30,00           |
| Servicios           | Impresiones                   | 150,00          |
| Servicios           | Fotocopias                    | 150,00          |
| Servicios           | Internet                      | 300,00          |
| Servicios           | Anillado                      | 20,00           |
| Servicios           | Acceso o licencia de Stata 17 | 500,00          |
| Recursos humanos    | Asesor                        | 0,00            |
| Recursos humanos    | Asesoramiento estadístico     | 500,00          |
|                     | <b>TOTAL</b>                  | <b>1880,00</b>  |

### Cronograma

| <b>Actividad</b>                              | <b>Periodo</b>              | <b>Condición</b>            |
|-----------------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| Corrección y presentación del proyecto        | Setiembre-octubre de 2026   | Antes de la ejecución       |
| Evaluación y aprobación por Posgrado          | Octubre-noviembre de 2026   | Requisito previo            |
| Evaluación ética y autorización institucional | Noviembre-diciembre de 2026 | Requisito previo            |
| Identificación y extracción de registros      | Enero-abril de 2027         | Después de las aprobaciones |
| Control de calidad y depuración               | Abril-mayo de 2027          | Base cerrada                |
| Procesamiento y análisis estadístico          | Junio-julio de 2027         | Después de la depuración    |
| Redacción del informe final                   | Agosto de 2027              | Resultados definitivos      |
| Presentación del informe final                | Setiembre de 2027           | Cierre del proyecto         |

## 8. ANEXOS

### Anexo 1. Cálculo del tamaño muestral

Se empleó la aproximación de Hsieh y Lavori para un modelo de Cox con una covariable continua. El número de eventos requerido se calculó mediante:

$$D = [Z(1 - \alpha/2) + Z(1 - \beta)]^2 / \{[\ln(HR)]^2 \times (1 - R^2)\}$$

Con  $\alpha = 0,05$ , potencia = 0,80, HR = 1,50 por una desviación estándar y  $R^2 = 0,25$ , se requieren 64 muertes. Al considerar una mortalidad hospitalaria esperada de 40%, el tamaño inicial es 160 pacientes. Después de añadir 10% por registros incompletos, la muestra mínima es 177 pacientes.

| Parámetro                             | Valor         |
|---------------------------------------|---------------|
| Nivel de significancia bilateral      | 0,05          |
| Potencia                              | 0,80          |
| Hazard ratio                          | 1,50 por 1 DE |
| R <sup>2</sup> exposición-covariables | 0,25          |
| Mortalidad esperada                   | 40%           |
| Registros incompletos                 | 10%           |
| Muestra mínima                        | 177 pacientes |

## Anexo 2. Matriz de operacionalización de variables

| Variable                   | Definición operacional                                                                                                                                                                             | Tipo                                         | Escala    | Forma de registro                            |
|----------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|-----------|----------------------------------------------|
| Poder mecánico             | Energía entregada por el ventilador por unidad de tiempo, calculada en las ventanas de 0-6, $24 \pm 6$ , $48 \pm 6$ y $72 \pm 6$ horas mediante una ecuación específica para el modo ventilatorio. | Cuantitativa continua dependiente del tiempo | Razón     | J/min; promedio acumulado ponderado          |
| Energía mecánica acumulada | Área bajo la curva del poder mecánico desde la intubación hasta 72 horas, extubación o muerte.                                                                                                     | Cuantitativa continua                        | Razón     | kJ                                           |
| Poder mecánico normalizado | Poder mecánico dividido entre peso corporal predicho o distensibilidad dinámica.                                                                                                                   | Cuantitativa continua                        | Razón     | J/min/kg;<br>(J/min)/(mL/cmH <sub>2</sub> O) |
| Mortalidad hospitalaria    | Fallecimiento por cualquier causa antes del alta de la hospitalización índice.                                                                                                                     | Cualitativa dicotómica                       | Nominal   | 0 = alta viva; 1 = fallecido                 |
| Edad                       | Edad cumplida al tiempo cero.                                                                                                                                                                      | Cuantitativa discreta                        | Razón     | Años                                         |
| Sexo                       | Sexo consignado en la historia clínica.                                                                                                                                                            | Cualitativa dicotómica                       | Nominal   | Masculino; femenino                          |
| Índice de masa corporal    | Peso en kilogramos dividido entre la talla en metros al cuadrado.                                                                                                                                  | Cuantitativa continua                        | Razón     | kg/m <sup>2</sup>                            |
| APACHE II                  | Puntaje obtenido durante las primeras 24 horas de ingreso a UCI.                                                                                                                                   | Cuantitativa discreta                        | Intervalo | 0-71 puntos                                  |

| Variable                    | Definición operacional                                                                                                                                                                                    | Tipo                   | Escala    | Forma de registro                                             |
|-----------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|-----------|---------------------------------------------------------------|
| SOFA basal                  | Puntaje más cercano al tiempo cero y anterior o simultáneo a la primera medición del poder mecánico.                                                                                                      | Cuantitativa discreta  | Intervalo | 0-24 puntos                                                   |
| Tipo de neoplasia           | Clasificación del diagnóstico oncológico principal.                                                                                                                                                       | Cualitativa dicotómica | Nominal   | Tumor sólido; neoplasia hematológica                          |
| Estado oncológico           | Evaluación más reciente del oncólogo o hematólogo: controlada si existe respuesta completa, parcial o enfermedad estable; no controlada si es activa sin respuesta, progresiva, recurrente o refractaria. | Cualitativa dicotómica | Nominal   | Controlada; no controlada                                     |
| Metástasis                  | Diseminación a distancia documentada en tumores sólidos.                                                                                                                                                  | Cualitativa dicotómica | Nominal   | Sí; no; no aplica                                             |
| Causa de intubación         | Condición principal que determinó el inicio de la VMI.                                                                                                                                                    | Cualitativa nominal    | Nominal   | Respiratoria; neurológica; choque; paro; perioperatoria; otra |
| SDRA                        | Cuadro agudo con opacidades bilaterales, edema no cardiogénico y $\text{PaO}_2/\text{FiO}_2 < 300$ mmHg; gravedad determinada con $\text{PEEP} \geq 5$ cmH <sub>2</sub> O.                                | Cualitativa ordinal    | Ordinal   | Sin SDRA; leve 201-300; moderado 101-200; grave $\leq 100$    |
| $\text{PaO}_2/\text{FiO}_2$ | Cociente más cercano a cada ventana de medición.                                                                                                                                                          | Cuantitativa continua  | Razón     | mmHg                                                          |
| Neutropenia                 | Recuento absoluto de neutrófilos $< 500$ células/mm <sup>3</sup> al tiempo cero.                                                                                                                          | Cualitativa dicotómica | Nominal   | Sí; no                                                        |

| Variable                             | Definición operacional                                                                                              | Tipo                                          | Escala  | Forma de registro                               |
|--------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|---------|-------------------------------------------------|
| Sepsis                               | Infección sospechada o documentada con incremento agudo de SOFA $\geq 2$ puntos respecto al basal.                  | Cualitativa dicotómica                        | Nominal | Sí; no                                          |
| Vasopresores                         | Administración de uno o más vasopresores al tiempo cero y en cada ventana.                                          | Cualitativa dicotómica dependiente del tiempo | Nominal | Sí; no                                          |
| Terapia de reemplazo renal           | Uso al tiempo cero y durante la estancia en UCI.                                                                    | Cualitativa dicotómica dependiente del tiempo | Nominal | Sí; no                                          |
| Modo ventilatorio                    | Modalidad registrada en cada ventana.                                                                               | Cualitativa nominal dependiente del tiempo    | Nominal | Control volumen; control presión; soporte; otro |
| Días libres de ventilación al día 28 | Días completos vivo y sin VMI hasta el día 28; cero si fallece antes del día 28 o recibe VMI durante 28 días o más. | Cuantitativa discreta                         | Razón   | 0-28 días                                       |
| Duración de VMI                      | Tiempo acumulado bajo VMI durante la hospitalización índice.                                                        | Cuantitativa continua                         | Razón   | Días                                            |
| Estancia en UCI                      | Tiempo desde ingreso hasta alta o muerte en UCI.                                                                    | Cuantitativa continua                         | Razón   | Días                                            |
| Estancia hospitalaria                | Tiempo desde ingreso hospitalario hasta alta o muerte.                                                              | Cuantitativa continua                         | Razón   | Días                                            |

### Anexo 3. Ficha de recolección de datos

Código del participante: \_\_\_\_\_

Fecha de recolección: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

Investigador: \_\_\_\_\_

#### I. Datos sociodemográficos

Edad: \_\_\_\_ años

Sexo: ☐ Masculino ☐ Femenino

Peso: \_\_\_\_ kg Talla: \_\_\_\_ cm IMC: \_\_\_\_ kg/m<sup>2</sup>

Peso corporal predicho: \_\_\_\_ kg

#### II. Datos oncológicos

Tipo: ☐ Tumor sólido ☐ Neoplasia hematológica

Diagnóstico específico: \_\_\_\_\_

Estado: ☐ Controlada ☐ No controlada

Metástasis: ☐ Sí ☐ No ☐ No aplica

Tratamiento en los 30 días previos: ☐ No ☐ Quimioterapia ☐ Radioterapia ☐

Inmunoterapia ☐ Terapia dirigida ☐ Terapia celular ☐ Otro

#### III. Inicio de ventilación y condición basal

Fecha y hora de ingreso a UCI: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_ \_\_\_\_: \_\_\_\_

Fecha y hora de intubación o tiempo cero: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_ \_\_\_\_: \_\_\_\_

Lugar de intubación: ☐ UCI ☐ Emergencia ☐ Sala de operaciones ☐ Otro INEN  
☐ Fuera del INEN

Causa de intubación: ☐ Respiratoria ☐ Neurológica ☐ Choque ☐ Paro ☐  
Perioperatoria ☐ Otra

APACHE II: \_\_\_\_ SOFA basal: \_\_\_\_ PaO<sub>2</sub>/FiO<sub>2</sub>: \_\_\_\_ mmHg

Neutropenia: ☐ Sí ☐ No Sepsis: ☐ Sí ☐ No Vasopresores: ☐ Sí ☐ No TRR:  
☐ Sí ☐ No

SDRA: ☐ No ☐ Leve ☐ Moderado ☐ Grave

#### IV. Variables ventilatorias durante las primeras 72 horas

| Parámetro                         | 0-6 h | 24 ± 6 h | 48 ± 6 h | 72 ± 6 h |
|-----------------------------------|-------|----------|----------|----------|
| Fecha y hora                      |       |          |          |          |
| Estado:<br>VMI/extubado/fallecido |       |          |          |          |

| Parámetro                                        | 0-6 h | 24 ± 6 h | 48 ± 6 h | 72 ± 6 h |
|--------------------------------------------------|-------|----------|----------|----------|
| Modo ventilatorio                                |       |          |          |          |
| VT (mL)                                          |       |          |          |          |
| VT predicho (mL/kg)                              |       |          |          |          |
| FR (resp/min)                                    |       |          |          |          |
| PEEP (cmH <sub>2</sub> O)                        |       |          |          |          |
| Ppico (cmH <sub>2</sub> O)                       |       |          |          |          |
| Pplat (cmH <sub>2</sub> O)                       |       |          |          |          |
| ΔP <sub>insp</sub> (cmH <sub>2</sub> O)          |       |          |          |          |
| Tiempo inspiratorio (s)                          |       |          |          |          |
| Tiempo de ascenso (s)                            |       |          |          |          |
| Resistencia (cmH <sub>2</sub> O/L/s)             |       |          |          |          |
| Distensibilidad dinámica (mL/cmH <sub>2</sub> O) |       |          |          |          |
| FiO <sub>2</sub>                                 |       |          |          |          |
| PaO <sub>2</sub> (mmHg)                          |       |          |          |          |
| PaO <sub>2</sub> /FiO <sub>2</sub> (mmHg)        |       |          |          |          |
| Poder mecánico (J/min)                           |       |          |          |          |
| Ecuación utilizada                               |       |          |          |          |
| Registro válido: sí/no                           |       |          |          |          |

## V. Indicadores derivados

Promedio acumulado ponderado: \_\_\_\_ J/min

Energía acumulada: \_\_\_\_ kJ

Tiempo con poder mecánico  $\geq 17$  J/min: \_\_\_\_ h

Poder mecánico normalizado por peso predicho: \_\_\_\_ J/min/kg

Poder mecánico normalizado por distensibilidad: \_\_\_\_

## VI. Evolución y desenlaces

Fecha y hora de extubación: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_ \_\_\_\_: \_\_\_\_

Reintubación: ☐ No ☐ Sí Fecha y hora: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_ \_\_\_\_: \_\_\_\_

Liberación exitosa de VMI durante  $\geq 48$  h: ☐ Sí ☐ No ☐ No aplica

Traqueostomía: ☐ Sí ☐ No

Días de VMI: \_\_\_\_\_ Días libres de ventilación al día 28: \_\_\_\_\_

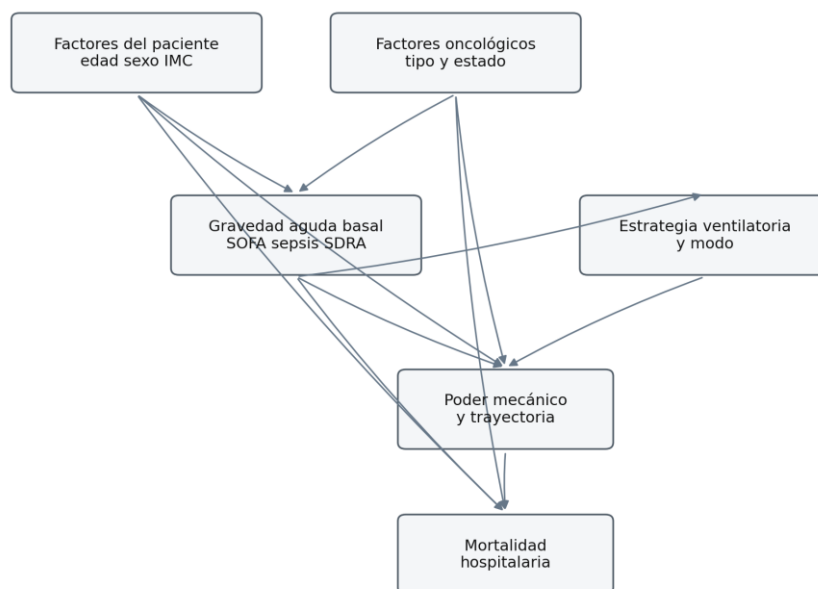
Días de estancia en UCI: \_\_\_\_\_ Días de estancia hospitalaria: \_\_\_\_\_

Condición al alta de UCI: ☐ Vivo ☐ Fallecido

Condición al alta hospitalaria: ☐ Alta viva ☐ Fallecido

Fecha de alta o fallecimiento: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

#### Anexo 4. Diagrama causal propuesto



El conjunto de ajuste se definirá antes del análisis mediante este diagrama y se limitará de acuerdo con el número de muertes observadas. Los cambios posteriores de gravedad, soporte orgánico y modo ventilatorio se considerarán variables posteriores a la exposición y no se incluirán de manera automática en el modelo principal.